

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
Please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 195 05 905 A 1**

51 Int. Cl.⁸:
H 04 B 7/15
H 04 B 7/26
H 04 B 7/204
H 04 Q 7/00

21 Aktenzeichen: 195 05 905.0
22 Anmeldetag: 21. 2. 95
43 Offenlegungstag: 5. 10. 95

DE 195 05 905 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31

04.04.94 US 222067

71 Anmelder:

Motorola, Inc., Schaumburg, Ill., US

74 Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,
Anwaltssozietät, 80538 München

72 Erfinder:

Rahnema, Moe, Chandler, Ariz., US

54 Verfahren und Vorrichtung zur adaptiven Weiterleitung in einem Kommunikationssystem

57 In einem globalen Kommunikationssystem werden Datenpakete über Kommunikationsverbindungen in einer gleichverteilten Weise weitergeleitet. Einheitliche Verbindungsverwendung wird innerhalb erlaubter Wege erreicht, welche über End-zu-End-Transportverzögerungskriterien bestimmt werden. Das Weiterleitungsverfahren berechnet die Wege im voraus unter Verwendung eines iterativen Prozesses, welcher Wege für jedes Quellen/Zielpaar aus einem erlaubten möglichen Satz von alternativen Wegen mit minimalem Funkfeld auswählt, wobei versucht wird, die Verbindungsverwendungswahrscheinlichkeiten für die Verbindungen, die in jedem Schritt des Weiterleitungsbestimmungsprozesses enthalten sind, auszugleichen. Individuelle Weiterleitungstabellen werden erzeugt und in jedem Satellitenknoten gehalten. Die Tabellen können in regelmäßigen Abständen erneuert werden, um Veränderungen in der Verkehrsanforderungsverteilung und den physikalischen Knotenverbindungen innerhalb der Konstellation, wie sie aufgrund der Satellitenbewegung und Fehlern im Netzwerk auftreten, zu reflektieren.

DE 195 05 905 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft Kommunikationssysteme und insbesondere Systeme bei denen Datenpakete zwischen Knoten in einem Kommunikationssystem weitergeleitet werden.

Herkömmliche zellulare Kommunikationssysteme verwenden ein Verfahren zum Weiterleiten von Kommunikationsinformation zwischen Knoten des Systems. Kommunikationsnetzwerke, wie die, die zum Überleiten von Telekommunikationen, zum Verbinden von Computern und dergleichen verwendet werden, können eine Anzahl von Knoten enthalten. Die Netzwerke können elektronische Kommunikationen zwischen zwei Punkten übermitteln, indem sie die Kommunikationen von Knoten zu Knoten innerhalb des Netzwerkes weiterleiten. Wenn die Anzahl der Knoten in dem Netzwerk zunimmt und somit die Anzahl der Kommunikationspfade zunimmt, die für jeden Netzwerkknoten verfügbar sind, so steigt die Anzahl der verfügbar möglichen Pfade für jede einzelne Kommunikation in gleicher Weise. Somit besteht ein Problem darin, einen geeigneten Pfad durch das Netzwerk auszuwählen. Typischerweise wird versucht, den kürzestmöglichen Pfad zu finden, um Verzögerungen zu minimieren und um so wenig wie möglich Netzwerkressourcen einzusetzen sowie darüber hinaus die Zuverlässigkeit der Kommunikation zu erhöhen. Das Netzwerk muß diese Randbedingungen mit den Anforderungen, daß keine Engpässe im Nachrichtenverkehr auftreten, und daß eine Kommunikation ihr Ziel mit der größtmöglichen Wahrscheinlichkeit erreicht, in Übereinstimmung bringen.

Bei einem globalen Kommunikationssystem, bei dem die Knoten weltallgestützt sind und sich zueinander bewegen, werden Mechanismen benötigt, die eine einfache Verarbeitung und eine einfache Entscheidungsfindung ermöglichen. Weiterhin ist auch ein minimaler Austausch von Weiterleitungsinformation in dem Netzwerk erwünscht, um die Knotenkomplexität zu minimieren und das Weiterleitungs-Management für eine erhöhte Zuverlässigkeit und verringerte Kosten zu vereinfachen. Wenn die Knoten des Kommunikationssystems Satelliten darstellen, und die Möglichkeit von Satellitenknoten- und Verbindungs-Fehlern besteht, ist adaptives Weiterleiten erwünscht, um die Verkehrslast über sich bewegende Satellitenknoten und sich ändernde Verbindungskapazität auszugleichen. Adaptives Weiterleiten ist auch deshalb erwünscht, um sich zeitlich ändernde Verkehrsbelastungen und Gesprächsanfangsmuster auszugleichen.

Herkömmliche Techniken für adaptives Weiterleiten erfordern den Austausch von Weiterleitungs-update-Information unter den Netzwerkknotenpunkten. Sie benötigen darüber hinaus Verarbeitung innerhalb des Knotens. Diese Techniken können Synchronisationsprobleme bei satellitengestützten Netzwerken, aufgrund der längeren Verzögerungszeiten, aufwerfen. Zusätzlich nehmen diese Techniken wertvolle Funkbandbreiteressourcen in Anspruch. Herkömmliche Techniken benötigen auch das Vorliegen und das Verwalten von Weiterleitungstabellen innerhalb der Knoten, was zu Platzbeanspruchung und zu Erhöhung der Fehlermöglichkeiten führt.

Alternative Einrichtungen zum Implementieren von adaptivem Weiterleiten bestehen in zentralisierten Versionen, bei denen erneute Wege an zentralisierten Plätzen berechnet werden und die Information dann entweder zu jedem Knoten in Form einer Tabelle übertragen

wird, oder in anderer Weise zu jedem gesprächsverarbeitenden Punkt verteilt wird, und zur Auswahl des optimalen Weges zum Zeitpunkt der Einrichtung eines Gesprächs verwendet wird. Diese Art von adaptiver Weiterleitung wird als Quellen-Weiterleitung (source routing) bezeichnet und wurde in einigen existierenden Paket-Netzwerken, wie etwa dem Tymnet, implementiert. Bei erdgestützten Kommunikationsnetzwerken wie dem Tymnet, werden alle Gespräche normalerweise durch einen einzigen zentralen Überwacher (supervisor) verarbeitet, welcher die update-Weiterleitungsinformation für jedes mögliche Quellen-Ziel-Paar des Netzwerkes berechnet und speichert. Da diese einzelne Ressource Wege (Pfade) für jedes Gespräch auswählt und sogenannte "virtual-circuit"-Identifizierer jedem Gespräch zuteilt, ist die Einmaligkeit einer derartigen Weg-Identifikation für alle Gespräche in dem Netzwerk beibehalten und es tritt keine Konfusion auf, wenn mehrere Gespräche einen gemeinsam dazwischenliegenden Knoten auf ihrem Weg durch das Netzwerk passieren.

Diese Situation ist völlig anders bei globalen satellitengestützten Kommunikationsnetzwerken, wo sich bis zu 20 Überleiteinrichtungen (gateway) sich die Gesprächsverarbeitungslast teilen. Jedes Gespräch kann zu einer unterschiedlichen Überleiteinrichtung weitergeleitet werden und von dieser verarbeitet werden. Jede Überleiteinrichtung muß mit den virtuellen Schaltkreisidentifizierungen, die von anderen Überleiteinrichtungen den Gesprächen zugeteilt wurden, in Echtzeit mithalten, so daß der gleiche virtuelle Schaltkreis nicht von einer anderen Überleiteinrichtung beim Identifizieren eines Weges für ein neues Gespräch, welches durch diese Überleiteinrichtung verarbeitet wird, wiederverwendet wird. Die Komplexität und Ineffizienz, die mit dem Echtzeitaustausch von Wegidentifikationsinformationen unter mehreren entfernt voneinanderliegenden Überleiteinrichtungen in einem globalen Kommunikationsnetzwerk auftritt, ist unerwünscht.

Es besteht somit ein Bedürfnis nach einem Verfahren und einer Vorrichtung zum Weiterleiten von Datenpaketen unter Knoten in einem Kommunikationssystem, bei dem die Knoten sich in bezug zueinander bewegen, und bei dem die Verbindungen zwischen den Knoten sich als Funktion der Position des Knotens ändern. Außerdem wird ein hochverteiltes Weiterleitungsverfahren benötigt, das in jedem Knoten autonom implementiert ist. Weiter besteht ein Bedürfnis nach einem Weiterleitungsverfahren, welches Einheitlichkeit hinsichtlich der Verwendung von Netzwerkverbindungen ermöglicht, während die Anzahl von Funkfeldern (hop) für jeden Pfad für die Weiterleitung begrenzt ist. Weiter wird ein Weiterleitungsverfahren benötigt, welches Einheitlichkeit bei der Verwendung von Netzwerkverbindungen erreicht, während es Verbindungsblockierungen vermeidet. Auch wird ein Weiterleitungsverfahren benötigt, welches Blockierungen vermeidet, statt auf sie zu reagieren. Auch besteht ein Bedürfnis nach einem Verfahren, das gegenüber Verbindungsfehlern sicher ist, und welches Datenpakete um Verbindungsfehler herumleitet.

Entsprechend ist es ein Vorteil der vorliegenden Erfindung, daß ein Netzwerk angegeben wird, welches Kommunikationssignale in verteilter Weise weiterleitet.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß die Netzwerkressourcen, die für die Weiterleitung von Kommunikationssignalen bestimmt sind, minimiert werden.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung be-

steht darin, daß die Weiterleitung von Datenpaketen auf verschiedene Kommunikationsverbindungen aufgeteilt wird.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht in der Minimierung der Verzögerung beim Weiterleiten von Kommunikationssignalen zwischen Netzwerk- und Netzwerkeingangspunkten.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß Kommunikationsnachrichtenblockierungen ausgeglichen werden.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß Knoten- und Verbindungsfehler ausgeglichen werden.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß Weiterleitungstabellen in Kommunikationsknoten erneuert werden können, um Netzwerkfehler und sich verändernde Verkehrsanforderungsmuster zu reflektieren.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß Verzögerungen (ditter) für Sprachpakete eliminiert werden und daß eine Maßnahme zum Verhindern von Blockierungen durch Lastaufteilung zur Verfügung gestellt wird.

Die obigen Vorteile der vorliegenden Erfindung werden durch ein Kommunikationssystem erreicht, welches eine Vielzahl von Knoten aufweist, die über Verbindungen miteinander kommunizieren. Die Erfindung stellt ein Verfahren zum Weiterleiten von Datenpaketen unter der Vielzahl von Knoten dar und sieht folgende Schritte vor: Auffinden eines Weges mit minimaler Funkfeldanzahl (minimum hop routes) zwischen einem Quellenknoten und einem Zielknoten. Jeder der minimalen Funkfeldwege umfaßt eine Sequenz von Verbindungen über die ein Datenpaket gesendet werden kann. Das Verfahren schließt das Berechnen einer Verbindungsnutzungswahrscheinlichkeit (link usage probability) (LUP) für jede Verbindung mit ein, die in den minimalen Funkfeldwegen enthalten ist. Das Verfahren weist weiterhin das Auswählen eines Erste-Wahl-Weges mit minimalem Funkfeld aus den Wegen mit minimalem Funkfeld basierend auf den LUPs, die mit jeder Verbindung der Wege mit minimalem Funkfeld assoziiert sind und das Weiterleiten des Datenpaketes von den Quellenknoten zu dem Zielknoten über diesen Erste-Wahl-Weg auf.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist das Verfahren weiterhin das Berechnen einer Netzwerkweiterleitungs-Entropy (network routing entropy) (NRE), unter Verwendung der LUPs, auf und weist weiter den Schritt des Auswählens des Erste-Wahl-Weges, basierend auf dem NRE, auf.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist das Verfahren die Schritte des Bestimmens einer Verbindung mit maximalem Wert in bezug auf die LUPs für jeden Weg mit minimalem Funkfeld auf und das Auswählen des Erste-Wahl-Weges, welcher die Verbindung mit dem geringsten Wert von den maximalen Werten enthält.

Die Erfindung stellt auch ein Kommunikationssystem zur Verfügung, das Datenpakete über Wege mit minimalem Funkfeld weiterleitet, was zu einer verteilten Nutzung der Kommunikationsverbindungen führt. Die Wege mit minimalem Funkfeld enthalten eine Liste von Kommunikationsverbindungen, über die ein Datenpaket zwischen einem Quellenknoten und einem Zielknoten gesendet werden kann. Das System umfaßt eine Vielzahl von Knoten, die sich in bezug aufeinander bewegen, wobei die Knoten mit den Kommunikationsverbindungen gekoppelt sind. Das System enthält auch

Vielkanal-Sende/Empfangseinrichtungen, die mit jedem Knoten assoziiert sind und zum Senden von Datenpaketen über die Kommunikationsverbindungen, unter Verwendung der Wege mit minimalem Funkfeld, dienen.

Das System umfaßt auch einen Prozessor, der mit jedem der Vielkanal-Sende/Empfangseinrichtungen gekoppelt ist. Das System weist auch eine Steuereinrichtung auf, die mit den Knoten gekoppelt ist, um zu bestimmen, welche Kommunikationsverbindungen während der vorgegebenen Zeitperioden verfügbar sind und zum Auffinden der Wege mit minimalem Funkfeld zwischen den Knoten, zum Berechnen der Verbindungsverwendungswahrscheinlichkeit (LUP) für jede Kommunikationsverbindung bei den Wegen mit minimalem Funkfeld, zum Berechnen einer NRE, basierend auf den LUPs, und zum Auswählen eines Erste-Wahl-Weges aus den Wegen mit minimalem Funkfeld für den Quellenknoten und dem Zielknoten, basierend auf der NRE.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden im folgenden unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigen die Zeichnungen im einzelnen:

Fig. 1 ein stark vereinfachtes Diagramm eines satellitengestützten Kommunikationssystems, bei dem die Erfindung angewendet werden kann;

Fig. 2 ein Datenpaketbeispiel, wie es zum Transportieren von Nachrichten bei einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann;

Fig. 3 ein vereinfachtes Blockschaltbild eines Satellitenfunkkommunikationsknotens, wie er in einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden kann;

Fig. 4 ein vereinfachtes Blockschaltbild eines Abschnitts einer Systemsteuerungsstation und eines Erdterminals, entsprechend einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 ein Beispiel einer Weiterleitungstabellendatenstruktur gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6 einen kleinen Abschnitt einer Konstellation von Satellitenknoten, die über Kommunikationsverbindungen (Kommunikationsleitungen) verbunden sind;

Fig. 7 einen Ausschnitt aus einer Knotenweiterleitungstabelle, gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 8 eine Prozedur zum Bestimmen der Weiterleitung von Datenpaketen gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 9 eine Parallelhardware-Implementation einer Paketweiterleitungslogik innerhalb eines aussendenden Knotens gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 10 eine parallele Hardware-Implementation einer Paketweiterleitungslogik innerhalb eines nichtaussendenden Knotens gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Unter "Satellit" wird im folgenden ein von Menschenhand gefertigtes Objekt oder Vehikel verstanden, welches einen Himmelskörper (z. B. die Erde) umkreist. Unter dem Wort Erde soll im folgenden jeder Himmelskörper verstanden werden, um den Kommunikationssatelliten kreisen können. Unter "Konstellation" wird im folgenden ein Ensemble von Satelliten verstanden, welche sich auf Umlaufbahnen befinden, um einen Teil oder den gesamten Himmelskörper abzudecken (z. B. mit Funkkommunikation, Photogrammetrie etc.). Eine Konstellation weist typischerweise mehrere Ebenen (oder

Umlaufbahnen) für Satelliten auf und kann eine gleiche Anzahl von Satelliten in jeder Ebene aufweisen, obwohl dies nicht notwendig ist. Die Ausdrücke "Zelle" und "Antennenmuster" werden im folgenden nicht für einen speziellen Mode für die Erzeugung verstanden und sind insbesondere dahingehend zu verstehen, daß sie entweder durch terrestrische oder satellitengestützte zellulare Kommunikationssysteme und/oder Kombinationen davon erzeugt werden. Der Ausdruck "Satellit" schließt sowohl geostationäre als auch umlaufende Satelliten und/oder Kombinationen davon mit ein, einschließlich erdnahe umlaufende (low earth orbiting) (LEO) Satelliten.

Fig. 1 zeigt eine stark vereinfachte Darstellung eines satellitengestützten Kommunikationssystems 10, von dem die vorliegende Erfindung einen Teil darstellen kann. Das Kommunikationssystem 10 ist über einen Himmelskörper (z. B. die Erde) verteilt, indem umlaufende Satelliten 12, welche Umlaufbahnen 14 einnehmen, verwendet werden. Die vorliegende Erfindung kann Systeme mit Satelliten betreffen, welche erdnahe (low-Earth) mittelnähe (medium-Earth) und geosynchrone Umlaufbahnen aufweisen. Zusätzlich können die Neigungswinkel (z. B. polar, äquatorial sowie andere) beliebig gewählt werden.

Das Kommunikationssystem 10 kann beispielsweise sechs polare Umlaufbahnen 14 aufweisen, von denen jede Umlaufbahn 14 elf Satelliten 12 aufweist, so daß insgesamt sechshundsechzig Satelliten 12 vorhanden sind. Es können jedoch auch mehr oder weniger Satelliten und mehr oder weniger Umlaufbahnen verwendet werden. Obwohl die vorliegende Erfindung besonders vorteilhaft ist, wenn eine große Anzahl von Satelliten verwendet wird, ist sie auch dann einsetzbar, wenn nur wenige oder nur ein Satellit eingesetzt wird. Fig. 1 zeigt aus Übersichtlichkeitsgründen nur wenige Satelliten 12.

Jede Umlaufbahn 14 umkreist die Erde in einer Höhe von etwa 780 km, obwohl auch höhere oder niedrigere Umlaufbahnen vorgesehen sein können. Aufgrund der relativ niedrigen Umlaufbahnen der Satelliten 12 können gerichtete elektromagnetische Übertragungen (z. B. Funkwellen, Licht etc.) von einem Satelliten oder der Empfang von Signalen bei einem Satelliten ein relativ geringes Gebiet auf der Erde abdecken.

Beispielsweise bewegen sich die Satelliten 12 mit etwa 25000 km/h gegenüber der Erde, so daß es für eine terrestrische Station für maximal etwa 9 Minuten möglich ist, den Satelliten zu sehen.

Die Satelliten 12 kommunizieren mit terrestrischen Stationen, welche eine Anzahl von Funkkommunikationsteilnehmereinheiten (subscriber units) (SUs) 26 und Erdanschlüsse (earth terminals) (ETs) 24 aufweisen können, welche mit einem Systemsteuersegment (system control segment) (SCS) 28 verbunden sind. Die ETs können auch mit Überleiteinrichtungen (gateways) (GWs) 22 verbunden sein, welche Zugriff auf öffentliche Telekommunikationsnetzwerke (PSTN) gestatten, oder sie können Zugriff auf andere Kommunikationseinrichtungen gestatten. Nur eine der GWs 22, SCS 28 und SUs 26 ist in Fig. 1 aus Gründen der Übersichtlichkeit gezeigt. Die ETs 24 können neben oder beabstandet von den SCS 28 oder GWs 22 angeordnet sein. Die ETs 24, die mit den SCSs 28 assoziiert sind, empfangen Daten, die die Nachführung der Satelliten 12 beschreiben und leiten Pakete mit Kontrollinformation weiter, während die ETs 24, die mit den GWs 22 assoziiert sind, nur Datenpakete weiterleiten (z. B. solche, die sich auf momentane Gespräche beziehen).

Die SUs 26 können irgendwo auf der Oberfläche der Erde angeordnet sein oder sie können in der Atmosphäre über der Erde angeordnet sein. Die SUs 26 stellen vorzugsweise Kommunikationseinrichtungen dar, die in der Lage sind, Daten von dem Satelliten 12 zu empfangen und Daten an die Satelliten 12 zu übertragen. Die SUs 26 können portable zellulare Handtelefone darstellen, die in der Lage sind, mit den Satelliten 12 zu kommunizieren. Die SUs 26 müssen keine Steuerfunktionen für das Kommunikationssystem 10 übernehmen.

Das Netzwerk 10 kann eine beliebige Anzahl, beispielsweise Millionen von Teilnehmereinheiten 26, aufnehmen. In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kommunizieren die Teilnehmereinheiten 26 mit nahen Satelliten 12 über Teilnehmerverbindungen 16. Die Verbindungen 16 umfassen einen begrenzten Abschnitt des elektromagnetischen Spektrums, welches in eine Vielzahl von Kanälen aufgeteilt ist. Die Verbindungen 16 stellen vorzugsweise Kombinationen von L-Band-Frequenzkanälen dar und können FDMA- und/oder TDMA-Kommunikationen (infra) oder Kombinationen davon sein. Zumindest ein Satellit 12 überträgt über einen oder mehrere Rundfunkkanäle 18 in kontinuierlicher Weise. Die Teilnehmereinheiten 26 synchronisieren mit den Rundfunkkanälen 18 und verfolgen die Rundfunkkanäle 18 um Datennachrichten zu erkennen, welche an sie gerichtet sind. Die Teilnehmereinheiten 26 können Nachrichten zu den Satelliten 12 über einen oder mehrere Erfassungskanäle (acquisition channels) 19 übertragen. Die Rundfunkkanäle und die Erfassungskanäle 19 sind keiner Teilnehmereinheit 26 zugeordnet, sondern werden von allen Teilnehmereinheiten 26 benutzt, die sich momentan im Blickfeld des Satelliten 12 befinden.

Die Verkehrskanäle (traffic channels) 17 sind Zweige-Kanäle, die für spezielle Teilnehmereinheiten 26 von den Satelliten 12 von Zeit zu Zeit zugewiesen werden. In bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird ein digitales Format verwendet, um Daten über die Kanäle 17-19 zu übertragen und die Verkehrskanäle 17 unterstützen Echtzeitkommunikationen. Zumindest ein Verkehrskanal 17 ist für jedes Gespräch zugeteilt und jeder Verkehrskanal 17 weist eine ausreichende Bandbreite auf, um zumindest eine bidirektionale Sprachkonversation zu gewährleisten. Um Echtzeitkommunikationen zu gewährleisten, wird vorzugsweise ein TDMA-Schema verwendet, um die Zeit in Frames mit vorzugsweise einer Dauer von 60–90 Millisekunden einzuteilen. Insbesondere die Verkehrskanäle 17 erhalten spezielle Übertragungs- und Empfangszeitintervalle, vorzugsweise mit Dauern im Bereich von 3–10 Millisekunden innerhalb eines jeden Frames. Analoge Audiosignale werden digitalisiert, so daß das gesamte Signal eines Frames in einem einzelnen kurzen Hochgeschwindigkeits-Burst während eines zugewiesenen Zeitschlitzes übertragen und empfangen wird. Vorzugsweise unterstützt jeder Satellit 12 bis zu tausend oder mehr Verkehrskanäle 17, so daß jeder Satellit 12 simultan eine entsprechende Anzahl von Gesprächen bedienen kann.

Die Satelliten 12 kommunizieren mit anderen nahegelegenen Satelliten 12 über in der Ebene (in-plane) gelegene Querverbindungen 21 und über Querverbindungen zwischen (crossplane) Ebenen 23. Somit kann eine Kommunikation von einer Teilnehmereinheit 26, die an irgendeinem Punkt auf oder nahe der Oberfläche der Erde angeordnet ist, durch die Konstellation der Satelliten 12 zu praktisch jedem anderen Punkt auf der Ober-

fläche der Erde weitergeleitet werden. Eine Kommunikation kann zur Teilnehmereinheit 26 auf oder nahe der Oberfläche der Erde von einem Satelliten 12 unter Verwendung einer Teilnehmerverbindung 16 heruntergeleitet werden. Alternativ kann eine Kommunikation von einer der ETs 24 herunter- oder heraufgeleitet werden, wobei Fig. 1 nur zwei entsprechende Erdverbindungen 15 zeigt. Die ETs 24 sind vorzugsweise über die Oberfläche der Erde gemäß geopolitischen Grenzen verteilt. In bevorzugten Ausführungsformen kann jeder Satellit 12 mit bis zu vier ETs 24 und mit über tausend Teilnehmereinheiten 26 gleichzeitig kommunizieren.

Die SCS 28 überwacht den Zustand und die Betriebsbereitschaft des Systemkommunikationsknotens (z. B. der GWs 22, ETs 24 und der Satelliten 12) und verwaltet vorzugsweise den Betrieb des Kommunikationssystems 10. Eine oder mehr ETs 24 können das primäre Kommunikationsinterface zwischen der SCS 28 und dem Satelliten 12 zur Verfügung stellen. Die ETs 24 enthalten Antennen und HF-Sende/Empfangsgeräte und führen vorzugsweise Telemetrie-, Nachführungs- und Steuerfunktionen für die Satellitenkonstellation aus.

Die GWs 22 können Gesprächsverarbeitungsfunktionen in Verbindungen mit dem Satelliten 12 ausführen oder die GWs 22 können exklusiv die Gesprächsverarbeitung und die Zuweisung von Gesprächsübernahmekapazität innerhalb des Kommunikationssystems 10 ausführen. Diverse terrestrische Kommunikationssysteme, wie beispielsweise das PSTN, können auf das Kommunikationssystem 10 über die GWs 22 zugreifen.

Bei der beispielhaften Konstellation von sechsundsechzig Satelliten 12 befindet sich zumindest ein Satellit innerhalb des Blickfeldes von jedem Punkt der Erdoberfläche (d. h. eine volle Abdeckung der Erdoberfläche wird erreicht). Theoretisch kann jeder Satellit 12 zu jeder Zeit in direkter oder indirekter Datenkommunikation mit einer SU 26 oder einer ET 24 stehen, indem Daten über die Konstellation von Satelliten 12 weitergeleitet werden. Entsprechend kann das Kommunikationssystem 10 einen Kommunikationspfad einrichten, um Daten über die Konstellation der Satelliten 12 zwischen zwei beliebigen SUs 26, zwischen der SCS 28 und einer GW 22, zwischen zwei beliebigen GWs 22 oder zwischen einer SU 26 und einer GW 22 weiterzuleiten.

Die vorliegende Erfindung kann auch dort angewendet werden, wo eine Vollabdeckung der Erde nicht erforderlich ist (d. h., wo Freibereiche im Abdeckungsgebiet verbleiben können) und bei Konstellationen, wo mehrere Abdeckungsabschnitte auf der Erde auftreten (d. h., wo mehr als ein Satellit von einem bestimmten Punkt der Erdoberfläche aus zu sehen ist).

Fig. 2 zeigt ein Diagramm eines beispielhaften Datenpaketes 70, das zum Transport einer Kommunikation zu und von einer Teilnehmereinheit 26 verwendet werden kann. Das Paket 70 enthält einen Header 72, welcher Daten trägt, die eine Typbeschreibung identifizieren, die dem Paket 70 zugeordnet werden soll, weiterhin eine Länge, die mit dem Paket 70 assoziiert werden soll und beliebige andere Informationen, die herkömmlicherweise in Datenpaket-Headern enthalten sind. Die Typbeschreibung (typ characterization) kann anzeigen, ob ein Paket 70 exklusiv Systemsteuernachrichten weiterleitet, oder ob es Teilnehmernachrichten weiterleitet. Ein Weiterleitungscode 74 instruiert das Netzwerk 10 (Fig. 1), wohin das Paket 70 transportiert werden soll.

Die Teilnehmer-ID 76 enthält einen Code, der in eindeutigerweise die Teilnehmereinheit 26 identifiziert und der der identifizierten Teilnehmereinheit und jeden Sa-

telliten 12 (Fig. 1) der einen Verkehrskanal 17 (Fig. 1) für die Teilnehmereinheit 26 zur Verfügung stellt, bekannt ist. Die Teilnehmereinheit 26 überwacht die Teilnehmer-IDs 36, die über den Rundfunkkanal 18 (Fig. 1) übertragen werden, um festzustellen, ob Pakete 70 für sie bestimmt sind. Der Satellit 12 verwendet Teilnehmer-IDs 76 von Paketen 70, welche Teilnehmereinheit-Gespräche tragen, um derartige Pakete 70 zu den Verkehrskanälen 17 weiterzuleiten, welche der identifizierten Teilnehmereinheit 26 zugewiesen sind.

Der Header 72, der Weiterleitungscode 74 und die Teilnehmer-ID 76 stellen zusätzliche Daten dar, welche dazu dienen, das Paket 70 an seinen Zielort zu bringen. Am Zielort des Paketes werden die Nutzdaten 78 abgegeben. Mit anderen Worten besteht der Zweck des Sendens eines Paketes 70 an einem Zielort darin, Nutzdaten 78 und nicht den Header 72, den Weiterleitungscode 74 oder die Teilnehmer-ID 76 abzuliefern. Die Nutzdaten 78 enthalten entweder Systemsteuerdaten 77 oder Systemsteuerdaten zusammen mit Teilnehmernachrichtendaten 79 (z. B. Sprache und/oder Daten). Die Systemsteuerdaten stellen Befehle oder Nachrichten dar, welche von den Teilnehmereinheiten 26 interpretiert werden, und auf welche reagiert wird. Diese Befehle sind typischerweise sehr kurz. Wenn Systemsteuerdaten über einen Rundfunkkanal 18 (Fig. 1) abgeliefert werden, werden die Teilnehmernachrichten 79 weggelassen, und das resultierende Paket ist so kurz, daß so viel wie mögliche Daten über den Rundfunkkanal ausgestrahlt werden können. Teilnehmernachrichten 79 stellen Teilnehmerdaten dar, die während eines Gesprächs transportiert werden. Wenn ein Paket 70 über einen Nachrichtenkanal 18 (Fig. 1) übermittelt wird, wird eine beträchtliche Anzahl von Teilnehmernachrichten angehängt. Wie oben diskutiert wurde, kann die digitalisierte Version eines gesamten Gesprächs audioframe durch die Teilnehmernachrichten 79 weitergeleitet werden.

Der Weiterleitungscode 74 enthält vorzugsweise eine Gesprächssequenzzahl (Call Sequence Number) (CSN), um zwischen verschiedenen Gesprächen innerhalb einer Überleiteinrichtung (gateway) oder bei einer Teilnehmereinheitsverbindung zu dem Sende- oder Zielsatellit, zu unterscheiden. Die CSN bildet ein Paket auf seinen zugewiesenen HF-Kanal in der Verbindung ab. Die CSN kann auch andere Teile des Paketes 70 enthalten.

Der Weiterleitungscode 74 enthält außerdem eine Zielsatellitenzahl. Die Zielsatellitenzahl wird vorzugsweise durch die Gesprächssteuerüberleiteinrichtung, die das Wissen über die Konstellationsbewegung und die zeitabhängige Überdeckungszone eines jedes Satelliten 12, wenn dieser sich bewegt, besitzt, zugewiesen. Die Zielsatellitenzahl wird von den Satelliten 1, 2 (Fig. 1) dazu verwendet, um ein Paket an seinen Zielsatelliten weiterzuleiten. Bei dem Zielsatelliten wird das Paket auf einer abwärtsgerichteten Verbindung (downlink) (d. h., auf einer Teilnehmereinheitsverbindung 16) entweder an eine Teilnehmereinheit 26 oder an eine Überleiteinrichtung 22 übertragen.

Verglichen mit der Größe des Teilnehmerverkehrs 42 ist die Länge der Systemsteuerdaten 40 normalerweise sehr klein. Daher können Systemsteuerdaten 40 zu einer Teilnehmereinheit 26 zusammen mit Teilnehmernachrichten 42 während eines Gesprächs übermittelt werden. Beispiele von Systemsteuernachrichten, welche zusammen mit Teilnehmernachrichten 42 über einen Nachrichtenkanal 17 überliefert werden, können Nachrichten sein, die die Teilnehmereinheit 26 darüber infor-

miert, daß die andere Partei eines Gesprächs einen "hung-up" hat, das ein anderes Gespräch auf die Teilnehmereinheit 26 wartet und eine beliebige Anzahl von Alarmdatennachrichten, welche in einer Sprachnachricht oder in einer anderen Alarmform dem Benutzer der Teilnehmereinheit 26 mitgeteilt werden können.

Fig. 3 zeigt ein vereinfachtes Blockschaltbild eines Satellitenfunkkommunikationsknotens, der zur Verwendung in einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden kann. Der Satellitenknoten 26 ist bei einem Satelliten 12 vorgesehen. Vorzugsweise enthalten alle Satelliten 12 innerhalb einer Umgebung 10 (siehe Fig. 1) die durch das Blockschaltbild der Fig. 3 gezeigte Ausrüstung. Der Satellit 12 enthält Querverbindungs-Sende/Empfangseinrichtungen 83 und zugeordnete Antennen. Die Sende/Empfangseinrichtungen 83 und die Antennen 81 unterstützen Querverbindungen zu anderen benachbarten Satelliten 12. Erdverbindungs-Sende/Empfangseinrichtungen 85 und zugeordnete Antennen 87 unterstützen Erdverbindungen, um mit Erdterminals 24 (Fig. 1) zu kommunizieren. Weiterhin unterstützen die Teilnehmereinheit-Sende/Empfangseinrichtung 80 und die zugeordneten Antennen 82 die Teilnehmereinheiten 26 (Fig. 1). Vorzugsweise kann jeder Satellit 12 gleichzeitig eine Verbindung für bis zu mehreren tausend oder mehr Teilnehmereinheiten 26 (Fig. 1) unterstützen. Für den Fachmann wird natürlich klar sein, daß die Antennen 81, 87 und 82 entweder als einzelne multidirektionale Antennen oder als Gruppen von diskreten Antennen implementiert sein können. Vorzugsweise stellt die Teilnehmereinheit eine Phasengitterantenne (phased array antenna) dar, die in der Lage ist, auf viele Zellen 34 (Fig. 1) gleichzeitig zuzugreifen.

Eine Steuereinheit 84 ist mit jeder Sende/Empfangseinrichtung 83, 76 und 80 sowie mit einem Speicher 86 und einem Timer 88 gekoppelt. Die Steuereinheit 84 kann durch einen oder mehrere Prozessoren implementiert sein. Die Steuereinheit 84 verwendet den Timer 88 um, neben anderen Dingen, das aktuelle Datum und die Zeit zu bestimmen. Der Speicher 86 speichert Daten, die als Befehle für die Steuereinheit 84 dienen und die, wenn sie von der Steuereinheit 84 ausgeführt werden, den Satelliten 12 veranlassen, im folgenden zu beschreibende Prozeduren auszuführen. Zusätzlich enthält der Speicher 86 Variablen, Tabellen und Datenbanken, die aufgrund des Betriebes des Satelliten 12 manipuliert werden.

Fig. 4 zeigt ein vereinfachtes Blockschaltbild eines Teiles einer Steuerstation 65 und eines Erdterminals 68, die geeignet sind, um in einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet zu werden. Die Steuerstation 85 und die terrestrische Station 68 bilden vorzugsweise einen Teil des SCS 28 (Fig. 1) bzw. einer ET 24 (Fig. 1). Die Steuerstation 65 umfaßt einen Prozessor 60, der über eine Verbindung 61 mit einem assoziierten Speichermedium 62 gekoppelt ist (z. B. einem RAM oder anderen Halbleiter- oder Magnet-Lese-Schreibspeichereinrichtungen, optischen Disks, magnetischen Bändern, Floppydisks, Harddisks). Die terrestrische Station 68 enthält eine Antenne 63, die mit dem Übertrager 65 und dem Empfänger 67 über eine Verbindung 69 gekoppelt ist. Der Übertrager 65 und der Empfänger 67 sind mit dem Prozessor 60 über Verbindungen 64 und 66 gekoppelt. Der Prozessor 60 führt vorzugsweise die im folgenden beispielhaft beschriebenen Prozeduren aus. Beispielsweise kann der Prozessor 60, neben dem Ausführen weiterer Aufgaben,

die Ergebnisse derartiger Prozeduren in dem Speichermedium 62 speichern. Der Übertrager 65 und/oder der Empfänger 67 übertragen Nachrichten zu dem Satelliten 12 und/oder empfangen Nachrichten von dem Satelliten 12.

Herkömmliche zellulare Funkeinheiten und Systeme sind beispielsweise in US-A-4783779, US-A-4144412 und US-A-5097499 beschrieben und Satellitenkommunikationssysteme sind beispielsweise in US-A-4722083 und US-A-4819227 beschrieben. Die Teilnehmerantennen 82 (Fig. 4), die Teilnehmer-Sende/Empfangseinrichtungen 80 (Fig. 4), die Steuerstation 28 (Fig. 1) und der Erdterminal 24 (Fig. 1) führen diese Funktionen aus und enthalten zumindest solche Geräte, die üblicherweise in den terrestrischen Fernsprech- oder zellularen Satelliten-Kommunikationssystemen enthalten sind plus zusätzliche Funktionen und Geräte, die im folgenden beschrieben werden.

Der Prozessor 60 steuert und verwaltet den Benutzerzugriff, den Nachrichtenempfang und die Nachrichtenübertragung, die Kanaleinrichtung (channel set-up), das Funktuning, die Frequenz- und Zeitschlitzzuweisung und andere zellulare Funkkommunikations- und Steuerfunktionen, die nicht durch die Steuereinheit 84 verwaltet werden oder zur Verfügung gestellt werden (Fig. 4). Neben anderen Dingen führt der Prozessor 60 und/oder die Steuereinheit 84 (Fig. 4) vorzugsweise Prozeduren aus, die es dem Benutzer erlauben, auf das Kommunikationssystem 10 zuzugreifen.

In einer bevorzugten Ausführungsform umfaßt das Kommunikationssystem 10 (Fig. 1) 66 LEO-Satelliten, die in sechs Umlaufbahnen angeordnet sind, von denen jede elf Satelliten 12 aufweist. In Fig. 1 ist jeder Satellit 12 mit zwei anderen Satelliten 12 innerhalb dieser gleichen Umlaufbahn 14 oder Umlaufebene über entsprechende Querverbindungen 21 verbunden. Die Kapazität von Querverbindungen 21 innerhalb einer Ebene ist konstant. Die Verbindungskapazität enthält Datenübertragungskapazität. In einer bevorzugten Ausführungsform kann die Querverbindungskapazität 100 bis 200 Pakete pro Frame-Zeit betragen und beträgt vorzugsweise 140 Pakete pro 9 Millisekunden Frame-Zeit. Die Kapazitäten der Querebenen-Querverbindungen (cross-plane cross-links) 23 (z. B. Links- und Rechtsquerverbindungen) können von einem Maximalwert, wenn die Satelliten am weitesten auseinander sind, bis zu einem minimalen Wert, wenn die Querverbindungen 23 ausgeschaltet sind, reichen. Beispielsweise sind in der Fig. 1 die Satelliten 12 in unterschiedlichen Umlaufbahnen 14 am weitesten voneinander entfernt, wenn sie nahe dem Äquator sind und sind nahe den Polen am nächsten zusammen. In einer bevorzugten Ausführungsform werden die Querverbindungen 23, die verschiedene Ebenen miteinander verbinden, im Rahmen eines Zellverwaltungsverfahrens abgeschaltet. Die Zellverwaltungsverfahren, die für die vorliegende Erfindung vorzugsweise verwendet werden, sind beispielsweise in US-A-5227802 beschrieben.

In der bevorzugten Ausführungsform gemäß Fig. 1 sind keine Querverbindungen 23 zwischen Ebenen an der Naht vorgesehen, welche zwischen Umlaufbahnen auf gegenüberliegenden Seiten der Erde auftreten, wenn die Satelliten 12 sich gegeneinander in unterschiedliche Richtungen bewegen. An dieser Naht verursacht die Bewegung der Satelliten-Doppler-Verschiebungen, die für eine zufriedenstellende HF-Kommunikation zu groß sind. Wenn die Erde sich innerhalb 24 Stunden einmal voll gedreht hat, verschiebt sich die

Naht über die Oberfläche der Erde einmal pro 24 Stunden.

Da sich jeder Satellit 12 auf seiner Umlaufbahn bewegt, verändern sich die Querverbindungen 23 zwischen Ebenen zwischen zwei Satelliten auf benachbarten Umlaufbahnen hinsichtlich der Kapazität von einem Maximum beim Äquator auf Null, wenn die Verbindung ausgeschaltet wird. Das Ausschalten einer Querverbindung tritt bei einem Winkel von etwa 68 Grad von dem Äquator auf. Die Querebenen-Verbindungen werden vorzugsweise ausgeschaltet, um die TDMA-Synchronisation beizubehalten. Die Querebenen-Verbindungen 23 bleiben ausgeschaltet bis der assoziierte Satellit einen Pol überquert und sich einer Höhe annähert (d. h., 180-63 Grad) wo die Querverbindung ihre Arbeit wieder aufnimmt. Dasselbe tritt auf, wenn ein Satellit sich dem anderen Pol nähert. Weiterhin tauschen zwei Satelliten die eine Querverbindung aufweisen, und sich über einen Pol bewegen, die Seiten hinsichtlich der linken und rechten Nachbarknotenverbindungen. Eine Zeitvariation in der relativen Knotenverbindung und Topologie tritt auf, wenn die Konstellation rotiert. Physikalische Weiterleitungsinformation, die sich innerhalb der Knoten (d. h. zum Erreichen anderer Knoten von dem Knoten) gespeichert ist, erfordert ein regelmäßiges und vorhersehbares Zeit-updating. Regelmäßig auftretende Zeitveränderungen der Satellitenknotenverbindung innerhalb der Konstellation wird vorzugsweise in eine Anzahl von definierten unterscheidbaren topologischen Zuständen für die Konstellation quantisiert. Die periodische Bewegung und Position der verschiedenen Satelliten innerhalb der Konstellation ist bekannt und in dem System gespeichert.

Fig. 5 zeigt ein Beispiel einer Weiterleitungstabellenstruktur, die für eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann. Die Weiterleitungsinformation, die von einem Paket, welches in einen Satellitenknoten eintritt, verwendet wird, um die Querverbindung zum Ausgang zu bestimmen, wird als Nachschlagetabelle, unter Verwendung des Paketziels, organisiert. In einer bevorzugten Ausführungsform kann die Nachschlagetabelle in einem RAM unter Verwendung einer sieben Bit-Adresse für die Tabelle des Paketziels gespeichert werden. Die gespeicherte Information an jedem Adreßbereich enthält ein Maximum von drei Verbindungsanzeigern. Die Tabelle 90 zeigt einen Erste-Wahl-Verbindungsanzeiger 96, einen Zweite-Wahl-Verbindungsanzeiger 98 und einen Dritte-Wahl-Verbindungsanzeiger 99, die für jeden Zielsatelliten oder jede Überleitungseinrichtung aufgelistet sind. Jeder Verbindungsanzeiger spezifiziert entweder eine linke, eine rechte, eine Vorwärts- oder eine Rückwärts-Querverbindung. Wie oben beschrieben, ist jeder Satellitenknoten über diese Verbindungen mit zumindest vier anderen Nachbarsatelliten gleichzeitig verbunden.

Der Erste-Wahl-Ausgangsverbindungsanzeiger 96 spezifiziert die Verbindung in Richtung des minimalen Funkfeld-Weges zum Ziel. Der Zweite-Wahl-Verbindungsanzeiger 98 spezifiziert die Verbindung in Richtung eines Zweite-Wahl-Weges mit minimalem Funkfeld, falls ein solcher existiert, und spezifiziert ansonsten die Verbindung in der vernünftigsten Richtung zum spezifizierten Ziel hin. Der Dritte-Wahl-Verbindungsanzeiger 99, wie er in der Weiterleitungstabelle 90 spezifiziert ist, listet eine andere Verbindung, in der am nächsten geeigneten Richtung zum spezifizierten Ziel hin, auf. In einer bevorzugten Ausführungsform kann jeder oder

beide der Zweite- und Dritte-Wahl-Wege als Null-Verbindung spezifiziert sein, bei der keine anderen Verbindungen aufgrund von Querebenen-Querverbindungen Ausschaltungen oder Verbindungsfehlern verfügbar sind.

Da die Konstellationsverbindung (d. h. die Verbindungen zwischen Satellitenknoten und Verbindungen zwischen Satellitenknoten und individuellen Überleitungseinrichtungen auf der Erde) mit der Bewegung der Satelliten sich weiterhin ändert, reflektiert die Weiterleitungstabelle 90 in richtiger Weise die notwendigen Änderungen. In einer Ausführungsform speichert jeder Satellit eine Anzahl von unterschiedlichen Tabellen (eine für jeden Zustand der Konstellationskollektivität) und verwendet die geeignete Tabelle, wenn der Satellit sich durch verschiedene Zustände der Konstellationskollektivität bewegt.

Bei anderen Ausführungsformen wird eine einzelne Weiterleitungstabelle bei jedem Satelliten verwendet und die Inhalte der Tabelle werden erneuert, wenn sich der Satellit über verschiedene Zustände der Konstellationskollektivität bewegt. Partielle vorausschauende Weiterleitungsinformation wird vorzugsweise über eine "uplink"-Verbindung von der SCS 28 (Fig. 1) übertragen, und in einem Satelliten 12 (Fig. 1) in regelmäßigen zeitlichen Abständen während eines gesamten Umlaufes gespeichert.

Unabhängig davon, welche Ausführungsform verwendet wird, um die Weiterleitungsinformation innerhalb der Knoten stets auf dem neuesten Stand hinsichtlich Änderungen in der Konstellationskonnektivität aufgrund von Bewegung zu halten, muß die Weiterleitungsinformation erneuert werden, um jeglichen Verbindungs- und Knoten-Fehlern Rechnung zu tragen, welche in der Konstellation auftreten können. Die SCS 28 (Fig. 1) berechnet vorzugsweise die geeigneten Ausgangsverbindungsmöglichkeiten für jeden Knoten (z. B. zum Erreichen eines beliebigen anderen Knotens) und überträgt diese Information an die verschiedenen Knoten. Erneuerungen der Systemkonfigurationenantwort aufgrund von Verbindungsfehlern werden vorzugsweise auf Schwellwertbasis vorgenommen (d. h., wenn eine bestimmte Anzahl oder Verteilung von Fehlern in die SCS berichtet werden). Die Erneuerung der Systemkonfiguration kann auch periodisch vorgenommen werden, wobei die Erneuerungsperioden in Beziehung zur mittleren Zeit zwischen Fehlern bei den Knoten oder Verbindungen innerhalb der Konstellation stehen. Da die Einbeziehung der SCS zur Nutzung der Fehlerinformation notwendig ist, stellt die zuletztgenannte Ausführungsform den Vorteil geringerer Speicheranforderungen zum Speichern der in den Satelliten benötigten minimalen Weiterleitungsinformation zur Verfügung. Der Umfang mit dem Weiterleitungsinformation zeitlich im voraus berechnet und in den Satelliten gespeichert wird, hängt von dem Verhältnis zwischen Speicherplatz innerhalb der Satelliten und der erforderlichen Antwortzeit auf Fehler ab.

Die Berechnung von Weiterleitungsinformation schließt die Berechnung von ersten, zweiten und dritten Ausgangsverbindungsmöglichkeiten für jeden Knoten mit ein, um jeden anderen Knoten für jeden unterschiedlichen Zustand (z. B. ein definiertes Zeitintervall) der Konstellationskonfiguration zu erreichen. Dieses Verfahren wird vorzugsweise von der SCS in Nichtzeit durchgeführt und die Ergebnisse werden an die Satelliten gesendet, um dort in der Weiterleitungstabelle 90, wie sie oben erwähnt wurde, aufzeichnet zu werden.

gen und Verbindungskapazitäten sind im wesentlichen unverändert). Bei dieser Ausführungsform werden alle Quellen/Zielpaar-Kombinationen zufällig numeriert.

Die Task 105 selektiert einen minimalen Funkfeldpfad, der vor der Task 104 für das erste Quellen/Zielpaar gefunden wurde. Der ausgewählte minimale Funkfeldweg kann beliebig gewählt werden, wenn es mehrere minimale Funkfeldwege gibt. Vorzugsweise werden die übrigbleibenden minimalen Funkfeldwege als alternative Auswahlwege gespeichert, wie dies oben diskutiert wurde. Die alternativen auswählbaren minimalen Funkfeldwege werden vorzugsweise benutzt, wenn der erste auszuwählende minimale Funkfeldweg nicht verfügbar ist, beispielsweise wenn eine Verbindung des minimalen Funkfeldweges der ersten Wahl ausfällt aufgrund der Erneuerung von Weiterleitungsinformation durch dieses Verfahren.

Die Task 106 berechnet eine Verbindungsbenutzungswahrscheinlichkeit (link usage probability) (LUP) für das erste Quellen-Zielpaar (S-D) und den minimalen Funkfeldweg, der von der Task 105 gefunden wurde. Jedesmal, wenn ein Weg betrachtet wird, wird der LUP für alle Verbindungen, die bei diesem Weg in Frage kommen, erneuert. In einer bevorzugten Ausführungsform kann die Task 106 eine LUP für jede Verbindung eines ausgewählten Weges mit minimalem Funkfeld berechnen oder erneuern. Der LUP kann wie folgt berechnet werden:

$$LUP = (F_i/N_j) \cdot D_j$$

wobei F_i die Anzahl angibt, mit der die Verbindung "i" in Pfaden enthalten ist, die für die Quellen/Zielpaare bis zu diesem Punkt betrachtet wurden. N_j gibt die gesamte Anzahl von Quellen/Zielpaaren "j" an, die bei diesem Punkt im Verfahren 100 betrachtet werden. D_j gibt den Prozentsatz für den Verkehr an, der für das Quellen/Zielpaar "j" über das Zeitintervall projiziert wird, für das die Netzwerkweiterleitungsinformation berechnet wird. In einer Abwandlung dieser Ausführungsform wird D_j auf "Eins" gesetzt, wenn die Verteilung des Verkehrs (d. h. die Anforderung für Nachrichtenservice) über das Netzwerk, welcher über die Quellen/Zielpaare übertragen werden soll, nicht betrachtet wird.

Beim Bestimmen der Weiterleitung wird "j" für jeden Quellen/ Zielknoten inkrementiert und die LUP für jede Verbindung, die bei dem ausgewählten Weg betroffen ist, erneuert. Wenn die LUPs für jede Verbindung des ausgewählten Weges berechnet wurden, berechnet die Task 108 eine Netzwerkweiterleitungsentropie (network routing entropy) (NRE). Die NRE kann aufgrund folgender Formel berechnet werden:

$$NRE = - \sum \{ (LUP)_i \cdot \log(LUP)_i \}$$

Die NRE ist die negative Summe aus dem Produkt des LUPs und des Logarithmus des LUPs für jede Verbindung der Konstellation. Die Task 108 erneuert die NRE auch jedesmal, wenn die Task 108 ausgeführt wird (d. h. für jedes betrachtetes Quellen/Zielpaar).

Die Task 110 wählt einen Weg mit minimalem Funkfeld aus den Wegen mit minimalem Funkfeld, die von der Task 104 für das Quellen/Zielpaar aufgefunden wurden, wobei dies unter Berücksichtigung erfolgt, welcher davon zu der größten NRE für das Netzwerk als erster Auswahlweg führt. Die Wege mit minimalem Funkfeld, die zur nächstgrößeren NRE führen, werden als Alternativen oder zweite Wege in den Weiterleitungstabellen

selektiert.

In einer alternativen Ausführungsform bestimmt die Task 110 die Verbindung für jeden Weg mit minimalem Funkfeld, der den maximalen LUP für diesen minimalen Funkfeldweg aufweist. Die Task 110 wählt dann den minimalen Funkfeldweg aus, welcher die Verbindung mit dem kleinsten der maximalen LUPs einschließt. Der kleinste maximale LUP bedeutet eine vernünftige Annäherung an die gesamte Netzwerkentropie, da die lokale Entropie von alternativen minimalen Funkfeldwegen für das betrachtete Quellen/Zielpaar betrachtet wird.

Die Task 112 erneuert den LUP für jede Verbindung des minimalen Funkfeldweges, welcher als Erste-Wahl-Weg von der Task 110 ausgewählt wurde. Der minimale Funkfeldweg(e), der nicht ausgewählt wurde, wird vorzugsweise als alternativer minimaler Funkfeldweg(e) gespeichert, wobei dies in der Reihenfolge der entsprechenden LUPs oder der resultierenden NREs geschieht.

Die Task 114 bestimmt, ob alle S-D-Paare der Knotenkonstellation betrachtet wurden und, falls dies nicht der Fall ist, wird mit der Task 106 fortgefahren, um die nächste S-D-Paarkombination zu betrachten (d. h. j wird um Eins erhöht). Die Tasks 106-112 werden für alle anderen Quellen/Zielpaare wiederholt. Wenn alle S-D-Paare betrachtet wurden, wurden die minimalen Funkfeldwege für jedes S-D-Paar ausgewählt. Die Task 116 bestimmt, ob alle bekannten Konstellations-Konfigurationen und Zeitintervalle betrachtet wurden. Beispielsweise können während bestimmter Abschnitte eines Umlaufs eines Knotens mehrere Querebenen-Querverbindungen ausgeschaltet werden. Dies tritt zu gewissen Zeiten während eines Umlaufs auf und es werden daher unterschiedliche alternative minimale Funkfeldwege gewählt.

Wenn alle Konstellations-Konfigurationen und Zeitintervalle betrachtet wurden, speichert die Task 118 die Weiterleitungsinformation. Die gespeicherte Information enthält eine Liste von ausgewählten minimalen Funkfeldwegen für jedes S-D-Paar, für jede Konstellations-Konfiguration während vorgegebener Zeitperioden. In einer Ausführungsform, die als virtuelle Pfadausführungsform bezeichnet wird, wird ein kompletter Satz von Weiterleitungsinformationen (d. h. ausgewählte minimale Funkfeldwege) in Gesprächssteuerzentren gespeichert, beispielsweise in der SCS 28 (Fig. 1). In dieser Ausführungsform enthält jedes Paket vorzugsweise ein Kennzeichen (tag), welches den Weg angibt, welcher beschritten werden soll, wenn das Paket von Knoten zu Knoten fortschreitet. Das Kennzeichen identifiziert ein Quellen/Zielpaar für das der Weg durch die Tasks 102-116 bestimmt wurde.

In der genannten Ausführungsform sendet die Task 120 Weiterleitungsinformationen (d. h. Listen von ersten, zweiten und dritten Auswahlmöglichkeiten für Wege mit minimalem Funkfeld) zu jedem Knoten für die ausgewählten minimalen Funkfeldwege, welcher diesen Knoten als Quellen- oder Übergangsknoten verwendet. Die Weiterleitungsinformation, die zu jedem Knoten gesendet wird, weist vorzugsweise Tabellenform auf. Die Weiterleitungstabelle, die zu jedem Knoten gesendet wird, listet jeden Knoten mit einem Kennzeichen, welches den Weg identifiziert, auf. Auf diese Weise enthält jeder Knoten nur Informationen über den nächsten Knoten des Weges, welcher mit jedem Kennzeichen assoziiert ist. Daher muß nicht die gesamte Weiterleitungsinformation für alle Quellen/Zielpaar-Kombinationen in jedem Knoten der Konstellation gespeichert

chert werden. Wenn ein Knoten ein Datenpaket enthält, verwendet der Knoten das Paketweiterleitungs-Kennzeichen, um den nächsten Knoten auf dem ersten Auswahlweg mit minimalem Funkfeld zu finden, zu dem das Paket gesendet werden soll.

Für den Fachmann wird klar sein, daß die Ausführungsform mit virtuellem Pfad auch verhindert, daß Verbindungsblockierungen auftreten, und daß dadurch eine verbesserte Weiterleitungsmöglichkeit geschaffen wird.

In einer anderen Ausführungsform, die als Datagram-Ausführungsform bezeichnet wird, identifiziert jedes Datenpaket einen Zielknoten als Teil der Paket-ID, statt ein Quellen/Zielpaar zu identifizieren, wie bei der Ausführungsform mit virtuellem Pfad. In der Datagram-Ausführungsform werden die Datenpakete zu dem Zielknoten unabhängig davon weitergeleitet, von welchem Knoten das Paket empfangen wurde, und unabhängig vom Quellenknoten des Paketes. In der Datagram-Ausführungsform werden Weiterleitungstabellen für jeden Knoten der Konstellation vorzugsweise von der SCS 28 (Fig. 1) bestimmt. Die Weiterleitungsinformation, die durch die Tasks 102–116 bestimmt wurde, wird verwendet, um die Anzahl der ausgewählten Funkfeldwege zu bestimmen, welche jeden Knoten als Quellknoten oder Übergangsknoten (transit node) zum Senden eines Datenpaketes zu einem anderen Zielknoten in der Konstellation verwenden. Basierend auf der Anzahl der ausgewählten Funkfeldwege, die einen Knoten verwenden, wird der Prozentsatz der ausgewählten Funkfeldwege, welche jede Verbindung, die mit diesem Knoten assoziiert ist, verwenden, bestimmt. Dieses Verfahren wird für jeden Knoten der Konstellation ausgeführt. Die bestimmten Prozentsätze werden als Wahrscheinlichkeit verwendet, mit denen ein Knoten eine seiner angezeigten Verbindungen verwendet, um ein Datenpaket zu einem identifizierten Zielknoten weiterzuleiten.

In der Datagram-Ausführungsform erzeugt die Task 118 eine Tabelle für jeden Knoten der Konstellation basierend auf diesen Prozentsätzen. Die Tabelle kann für jeden Knoten unterschiedlich sein und vorzugsweise schließt sie für jeden Zielknoten die Wahrscheinlichkeit, mit der jede Verbindung genutzt wird, mit ein. In einer Ausführungsform kann ein Knoten vier Ausgangsverbindungen haben. Drei der vier Ausgangsverbindungen können auf ausgewählten Funkstreckenwegen für einen bestimmten Zielknoten liegen. In diesem Fall würde die Tabelle den Knoten dahingehend informieren, jede der drei Verbindungen mit einem Prozentsatz basierend auf der Häufigkeit, mit der jede Verbindung in den ausgewählten Funkstreckenwegen enthalten ist, zu nutzen. Somit kann eine Verbindung für siebzig Prozent der Zeit aufgelistet sein, während die anderen zwei Verbindungen für zwanzig bzw. zehn Prozent der Zeit für einen bestimmten Zielknoten aufgelistet sind. In der Datagram-Ausführungsform sendet die Task 120 jede der individuellen Tabellen an den geeigneten Knoten, welcher für die Weiterleitung der Datenpakete verwendet wird.

Die Datagram-Ausführungsform leitet die Datenpakete zu den Zielknoten, unabhängig davon weiter, von welchem Knoten das Paket empfangen wurde und unabhängig von dem Quellknoten des Paketes. Für den Fachmann wird klar sein, daß, obwohl die Datagram-Ausführungsform, die durch die Tasks 102–116 bestimmte Weiterleitungsinformation nicht vollständig ausnützt, im Gegensatz zur Ausführungsform mit virtuellem Pfad, diese Ausführungsform den Vorteil auf-

weist, daß weniger Information von jedem Datenpaket befördert werden muß, da jedes Datenpaket lediglich den identifizierten Zielknoten trägt. Beispielsweise sind bei einer Ausführungsform mit 66 Satellitenknoten nur sieben Bit-Adressen notwendig, um alle möglichen Zielknoten zu identifizieren, während bei der Ausführungsform mit virtuellem Pfad zumindest dreizehn Bit-Adressen notwendig sind, um eine bestimmte Quellen/Zielpaar-Kombination zu identifizieren.

Es ist eine Weiterleitungslogik für die Entscheidung in den Satellitenknoten notwendig, um die Datenpakete weiterzuleiten. In einer bevorzugten Ausführungsform werden die Entscheidungen in einem Satellitenknoten durch logische Gatter implementiert, obwohl für den Fachmann klar sein wird, daß auch andere Implementierungen möglich sind. In einer Ausführungsform werden logische Weiterleitungsentscheidungen, basierend auf einer Zieladresse, die in jedem Datenpaket angezeigt ist, ausgeführt. Die Weiterleitungsentscheidungen variieren in Abhängigkeit davon, ob der Knoten ein aussendender, ein dazwischenliegender oder ein Zielknoten ist.

Fig. 9 zeigt eine parallele Hardware-Implementierung einer Paket-Weiterleitungslogik innerhalb eines aussendenden Knotens, wie er für eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung geeignet ist. Der aussendende Knoten ist ein Satellitenknoten, welcher das Paket entweder über eine Teilnehmerverbindung 16 (Fig. 1) von einer Teilnehmereinheit 26 (Fig. 1) oder über Erdverbindungen 15 (Fig. 1) von einer Überleiteinrichtung 22 (Fig. 1) erhält. Wie oben angesprochen, besitzt der aussendende Knoten vorzugsweise eine Abschätzung über die Entfernung des Ziels des Paketes in Form einer minimalen Funkfeldzahl von dem aussendenden Knotenpunkt. Der minimale Funkfeldzahl-Abstand basiert auf dem minimalen Funkfeldweg in einer funktionierenden Konstellation (d. h. mit kleinen Fehlern). Die abgeschätzte Entfernung wird vorzugsweise nur vor dem aussendenden Knoten als für die Entscheidung verwendete untere Grenze verwendet. Der geschätzte Entfernungsparameter wird als minimale Funkfeldzahl-Distanz (minimal hop count distance) (MHCD) bezeichnet. In einer bevorzugten Ausführungsform wird diese Information entweder zu dem aussendenden Knoten über Gesprächsaufbaunachrichten von der Gesprächsverarbeitungs-Überleiteinrichtung überliefert und in diesem gespeichert, oder in Echtzeit (z. B. durch reine verdrahtete Logik) basierend auf dem angezeigten Ziel innerhalb des Paketes berechnet. In einer anderen bevorzugten Ausführungsform kann das Paketziel durch ein Unterfeld von 3 Bits angezeigt sein, wodurch eine Umlaufzahl angezeigt wird und darüber hinaus durch ein 3 oder 4 Bit Unterfeld angezeigt werden, welches den bestimmten Satelliten innerhalb der Ebene kennzeichnet.

Der aussendende Knoten überprüft die angezeigte MHCD gegenüber einem setzbaren Schwellwert, der hier MHCT (minimum hop count threshold) genannt wird, welcher in den Satellitenknoten durch die SCS programmiert wird. Der aussendende Knoten leitet das Paket über die zweite oder die erste Ausgangsverbindungswahl weiter, welche durch die Weiterleitungstabelle angezeigt wird, in Abhängigkeit davon, ob für den MHCD festgestellt wird, daß er unter oder über dem festgelegten MHCT-Schwellwert liegt. Somit wird das Paket über den indirekten (längeren) Pfad gesendet, wenn die Funkfeldzahlverzögerung dies erlaubt und verwendet die Verbindungen für einen direkten Pfad (mit minimalen Funkfeldwegen) für Pakete, die ein wei-

ter entferntes Ziel erreichen müssen. Dies verhindert, daß Leitungsblockierungen durch Ladungsaufspaltung auftreten. Die Ladungsaufspaltung wird auf einer Gesprächs-/Gesprächs-Basis effektiv erreicht, da alle Pakete vor dem gleichen Gespräch im allgemeinen entlang der gleichen Quellen-/Ziel-Funkfeldzahl-Distanz gehören. Für den Fachmann wird klar sein, daß die Verzögerungsschwankungen, die bei Sprachdaten auftreten, eliminiert werden. Eine Ausführungsform der Weiterleitungslogik bei dem aussendenden Knoten ist in Fig. 9 in Form einer parallelen Implementation in Hardware aufgrund von Einfachheit und Geschwindigkeitsüberlegungen dargestellt.

In Fig. 9 bestimmt die Task 202, ob ein Paket für den momentanen Knoten adressiert ist. Die Task 204 liefert das Paket über eine "downlink"-Verbindung an einen Erdterminal oder eine Teilnehmereinheit. Wenn das Paket nicht für den momentanen Knoten adressiert ist, werden die drei Ausgangsleitungswahlmöglichkeiten von der Weiterleitungstabelle in der Task 206 gelesen. Die Task 208 leitet die Pakete über die Zweite-Wahl-Ausgangsverbindung weiter, falls sie nicht fehlerhaft ist. In einer bevorzugten Ausführungsform leitet die Task 208 das Paket über die Zweite-Wahl-Ausgangsverbindung weiter, falls sie nicht fehlerhaft ist und der MHCD kleiner ist als der MHCT.

Die Task 210 leitet das Paket über die Erste-Wahl-Ausgangsverbindung weiter, wenn die Zweite-Wahl-Ausgangsverbindung fehlerhaft ist. In einer bevorzugten Ausführungsform leitet die Task 210 das Paket über die Erste-Wahl-Ausgangsverbindung weiter, wenn die Zweite-Wahl-Ausgangsverbindung fehlerhaft ist und der MHCD kleiner ist als der MHCT. Die Task 212 leitet das Paket über die Dritte-Wahl-Ausgangsverbindung weiter, wenn die Erste- und Zweite-Wahl-Ausgangsverbindungen beide fehlerhaft sind. Die Task 214 leitet das Paket über die erste Verbindung weiter, wenn diese nicht fehlerhaft ist. In einer bevorzugten Ausführungsform leitet die Task 214 das Paket über die erste Verbindung weiter, falls diese nicht fehlerhaft ist und der MHCD größer oder gleich der MHCT ist. Die Task 216 leitet das Paket über die zweite Verbindung weiter, falls diese nicht fehlerhaft ist. In einer bevorzugten Ausführungsform leitet die Task 216 das Paket über die zweite Verbindung weiter, falls diese nicht fehlerhaft ist und der MHCD größer oder gleich der MHCT ist. Die Task 218 mißt das Paket wenn alle Ausgangsverbindungsmöglichkeiten, die in der Tabelle aufgelistet sind, fehlerhaft sind.

Fig. 10 zeigt eine parallele Hardware-Implementation der Paketweiterleitungslogik innerhalb eines nicht-aussendenden Knotens, gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Weiterleitungslogik, die verwendet wird, um das Paket an einen beliebigen Knoten außer an dem Knoten, welcher das Paket aussendet, zu schalten, wird durch die Prozedur 300 beschrieben. Ein Satellitenknoten leitet ein Paket über eine erste Ausgangsverbindungsmöglichkeit, die in der Weiterleitungstabelle angezeigt ist (für den Zustand der Konstellations-Konfiguration), weiter, wenn diese Verbindung nicht fehlerhaft ist. Im anderen Fall wird die zweite Ausgangsverbindung, die angezeigt wird, überprüft, falls diese nicht fehlerhaft ist. Andernfalls wird die dritte Ausgangsverbindung, die angezeigt ist, überprüft und das Paket über diese weitergeleitet, falls sie nicht fehlerhaft ist. Wenn alle Ausgangsverbindungswahlmöglichkeiten ausfallen, wird das Paket fallengelassen und der Schaltungsprozeß innerhalb des Knotens

ist abgeschlossen. Eine Ausführungsform einer parallelen schnellen Hardware-Implementation dieser Logik ist in Fig. 10 gezeigt.

In Fig. 10 bestimmt die Task 302 ob das Paket für den momentanen Knoten adressiert ist und, falls dies der Fall ist, liefert die Task 304 das Paket über eine "downlink"-Verbindung an einen Erdterminal oder eine Teilnehmereinheit. Wenn das Paket nicht für den momentanen Knoten adressiert ist, werden drei Ausgangsverbindungsmöglichkeiten von der Weiterleitungstabelle in der Task 306 gelesen. Die Task 308 leitet das Paket über die Erste-Wahl-Ausgangsverbindung weiter, wenn diese nicht fehlerhaft ist. Die Task 310 leitet das Paket über die Zweite-Wahl-Ausgangsverbindung weiter, wenn die Erste-Wahl-Ausgangsverbindung fehlerhaft ist. Die Task 312 leitet das Paket über die Dritte-Wahl-Ausgangsverbindung weiter, wenn die Erste- und Zweite-Wahl-Ausgangsverbindungen beide fehlerhaft sind. Die Task 314 verwirft das Paket, wenn alle Ausgangsverbindungsmöglichkeiten, die in der Tabelle aufgelistet sind, fehlerhaft sind.

Die Vorteile der vorliegenden Erfindung für das Weiterleiten von Datenpaketen und der Knoten in einem Kommunikationssystem, bei dem die Knoten sich zueinander bewegen und bei denen sich die Verbindungen zwischen den Knoten als Funktion der Position der Knoten und aufgrund von Verbindungsfehlern verändern, liegen auf der Hand. Diese Vorteile schließen ein hochverteiltes Weiterleitungsverfahren, das autonom bei jedem Knoten implementiert ist, mit ein. Ein anderer Vorteil des Weiterleitungsverfahrens besteht in der einheitlichen Verwendung der Netzwerkverbindungen, während die Anzahl der Funkfelder bei jedem Pfad, der für das Weiterleiten verwendet wird, begrenzt wird. Ein anderer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß Einheitlichkeit erzielt wird, welche hilft, Verbindungsblockierungen zu verhindern. Ein anderer Vorteil besteht darin, daß keine Weiterleitungsinformation in der SCS oder den GWs gehalten oder erneuert werden muß. Andere Vorteile bestehen darin, daß Blockierung verhindert wird, und nicht auf diese reagiert wird. Ein anderer Vorteil besteht in der Verbindungsfehlersicherheit und der Weiterleitung von Datenpaketen, um Verbindungsfehler unter Verwendung vorberechneter alternativer Verbindungsmöglichkeiten.

Patentansprüche

1. Verfahren für ein Kommunikationssystem (10) mit einer Vielzahl von Knoten (12), die miteinander über Verbindungen (21, 23) kommunizieren, wobei das Verfahren zum Weiterleiten von Datenpaketen (70) über die Vielzahl der Knoten (12) dient und folgende Schritte umfaßt:

- (a) Auffinden von Wegen mit minimalem Funkfeld (hop) (104) zwischen einem Quellenknoten und einem Zielknoten, wobei jede dieser Wege mit minimalem Funkfeld durch eine Sequenz von Verbindungen gekennzeichnet ist, über die ein Datenpaket gesendet werden kann;
- (b) Berechnen (106) einer LUP (link usage probability) für jede Verbindung, die mit den Wegen mit minimalem Funkfeld assoziiert ist;
- (c) Auswählen eines Erste-Wahl-Weges mit minimalem Funkfeld von den Wegen mit minimalem Funkfeld, basierend auf den LUPs, die mit jeder Verbindung der Wege mit minima-

lem Funkfeld assoziiert sind; und

(d) Weiterleiten des Datenpaketes von dem Quellknoten zu dem Zielknoten über den Erste-Wahl-Weg mit minimalem Funkfeld.

2. Verfahren nach Anspruch 1, weiterhin enthaltend folgende Schritte:

Berechnen einer Netzwerkweiterleitungsentropie (network routing entropy, NRE) unter Verwendung der LUPs, wobei der Auswahlsschritt weiterhin den Schritt des Auswählens eines Erste-Wahl-Weges mit minimalem Funkfeld, basierend auf dem NRE einschließt; und

Bestimmen für jeden Weg mit minimalem Funkfeld, eine Verbindung, die den Maximalwert der LUPs aufweist und wobei der Auswahlsschritt weiterhin den Schritt des Auswählens des Erste-Wahl-Weges mit minimalem Funkfeld der die Verbindung mit dem geringsten der maximalen Werte aufweist, einschließt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Bestimmungsschritt weiterhin den Schritt des Bestimmens aufweist, welche Verbindungen für den Transfer eines Datenpaketes während vorgegebener Zeitperioden nicht verfügbar ist, wobei die Verbindungen ausgeschaltet werden, wenn die Knoten ihre Umlaufposition ändern.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Wege mit minimalem Funkfeld einen Übergangsknoten in einer Sequenz von Verbindungen einschließen, wobei der Übergangsknoten ein Knoten aus dem Erste-Wahl-Weg mit minimalem Funkfeld ist und wobei jeder Knoten aus der Vielzahl von Knoten eine Vielzahl von Verbindungen, die damit assoziiert sind, aufweist, und wobei das Auswählen weiterhin den Schritt des Auswählens von Erste-Wahl-Wege mit minimalem Funkfeld für jedes Quellen-/Zielpaar von Knoten aus der Vielzahl mit einschließt und wobei das Verfahren weiterhin folgende Schritte aufweist:

für jeden Übergangsknoten Berechnen eines Prozentsatzes mit dem jede Verbindung, die mit dem Übergangsknoten assoziiert ist, durch die Erste-Wahl-Wege mit minimalem Funkfeld identifiziert werden, welche den Übergangsknoten zum Weiterleiten an den Zielknoten verwenden und wobei der Weiterleitungsschritt den Schritt des Weiterleitens des Datenpaketes vom Übergangsknoten weg zum Zielknoten über eine aus der Vielzahl von Verbindungen, die mit dem Übergangsknoten assoziiert sind, basierend auf dem Prozentsatz mit einschließt, und wobei weiterhin folgende Schritte vorgesehen sind:

Erzeugen einer Tabelle für den Zielknoten für den Übergangsknoten, welche einen Prozentsatz für jede Verbindung aus der Vielzahl von Verbindungen, die mit dem Übergangsknoten assoziiert sind, einschließt; und

Senden der Tabelle zu dem Übergangsknoten.

5. Verfahren nach Anspruch 1, weiterhin enthaltend den Schritt des Bestimmens von verfügbaren Verbindungen, die während einer vorgegebenen Zeitperiode benutzt werden können und wobei der Auffindeschritt weiterhin den Schritt des Betrachtens von nur verfügbaren Verbindungen zum Finden der Wege mit minimalem Funkfeld einschließt, wobei die vorgegebenen Zeitperioden auf unterschiedlichen Konstellations-Konfigurationen für die Vielzahl von Knoten beruhen, und wobei die

Konstellations-Konfigurationen Umlaufpositionen für jeden Knoten während jeder vorgegebenen Zeitperiode einschließt, einschließlich von Verbindungen, für die geplant ist, sie während jeder der vorgegebenen Zeitperioden auszuschalten.

6. Kommunikationssystem zum Weiterleiten von Datenpaketen über Wege mit minimalem Funkfeld (hop), um eine verteilte Benutzung von Kommunikationsverbindungen zu erreichen, wobei die Wege mit minimalem Funkfeld durch eine Liste von Kommunikationsverbindungen bezeichnet werden, über die ein Datenpaket zwischen einem Quellknoten und einem Zielknoten gesendet werden kann, und wobei das System aufweist:

eine Vielzahl von Knoten, die sich in bezug zueinander bewegen, wobei die Knoten über Kommunikationsverbindungen miteinander gekoppelt sind; Mehrkanal-Sende-Empfangseinrichtungen, die mit jedem Knoten aus der Vielzahl von Knoten assoziiert sind, um Datenpakete über die Kommunikationsverbindungen, unter Verwendung der Wege mit minimalem Funkfeld, zu senden;

einen Prozessor, der mit jedem der Mehrkanal-Sende/Empfangseinrichtung gekoppelt ist; und einer Steuereinrichtung, die mit den Knoten gekoppelt ist, um zu bestimmen, welche der Kommunikationsverbindungen während vorgegebener Zeitperioden verfügbar sind und um die Wege mit minimalem Funkfeld zwischen den Knoten zu bestimmen, um die LUPs (link usage probabilities) für jede Kommunikationsverbindung der Wege mit minimalem Funkfeld zu berechnen, um eine Netzwerkweiterleitungsentropie (NRE), basierend auf den LUPs zu berechnen, und um einen Erste-Wahl-Weg mit minimalem Funkfeld aus den Wegen mit minimalem Funkfeld für den Quellknoten und für den Zielknoten, basierend auf der NRE, auszuwählen.

7. Kommunikationssystem nach Anspruch 6, wobei die Erste-Wahl-Wege mit minimalem Funkfeld einen Übergangsknoten in der Sequenz von Verbindungen aufweisen, wobei der Übergangsknoten ein Knoten aus dem Erste-Wahl-Weg mit minimalem Funkfeld ist und wobei die Steuereinheit aufweist: eine Einrichtung zum Berechnen eines Prozentsatzes mit der jede Kommunikationsverbindung aus der Vielzahl der Verbindungen, die mit dem Übergangsknoten assoziiert sind, durch den Erste-Wahl-Weg mit minimalem Funkfeld, der den Übergangsknoten verwendet, identifiziert wird; und eine Einrichtung zum Instruieren der Sende/Empfangseinrichtung, die mit dem Übergangsknoten gekoppelt ist, ein Datenpaket von dem Übergangsknoten, über eine der mit dem Übergangsknoten assoziierte Kommunikationsverbindung, basierend auf dem Prozentsatz, zu senden.

8. Kommunikationssystem nach Anspruch 6, weiterhin enthaltend ein Speichermedium an jedem Knoten, der mit den Prozessoren gekoppelt ist, wobei das Speichermedium eine Tabelle speichert, die einen Erste-Wahl-Weg mit minimalem Funkfeld einschließt, wobei die Tabelle von der Steuereinrichtung zu jedem Knoten der Vielzahl von Knoten über eine "uplink"-Verbindung gesendet wird.

9. Kommunikationssystem nach Anspruch 5, wobei die Steuereinrichtung eine Einrichtung zum Auffinden alternativer Funkfeldwege einschließt, wenn nur ein Weg mit minimalem Funkfeld gefunden

wurde, wobei die alternativen Funkfeldwege Wege mit einschließen, die eine Funkfeldlänge aufweisen, die geringer ist als ein akzeptierbarer Schwellwert für einen Typ von Datenpaket, wobei der akzeptierbare Schwellwert auf einer Verzögerung, die mit dem alternativen Funkfeldweg assoziiert ist, basiert. 5

10. Verfahren für ein Kommunikationssystem, bestehend aus einer Vielzahl von Knoten, die sich in bezug aufeinander bewegen und die miteinander über Verbindungen kommunizieren, wobei das Verfahren zum Weiterleiten von Datenpaketen unter den Knoten dient und folgende Schritte aufweist: 10

Bestimmen von verfügbaren Bestimmungen während einer Vielzahl von vorgegebenen Zeitperioden, wobei jede Zeitperiode auf unterschiedlichen Konstellations-Konfigurationen für die Knoten beruht, die Konstellations-Konfigurationen Umlaufpositionen für jeden der Knoten während jeder der vorgegebenen Zeitperioden einschließt; 15

Auffinden von minimalen Funkfeldwegen für jede Konstellations-Konfiguration zwischen Quell- und Ziel-Knotenpaaren, wobei jeder Weg mit minimalem Funkfeld durch eine Sequenz von verfügbaren Verbindungen gekennzeichnet ist, über die ein Datenpaket zwischen einem Quellknoten und einem Zielknoten gesendet werden kann; 20

Berechnen einer LUP (link usage probability) für jede der Verbindungen der Sequenz, wobei der LUP auf einer Anzahl von Zeiten basiert zu denen eine Verbindung in jeder der Sequenzen verwendet wird; 25

Berechnen einer Netzwerkweiterleitungsentropie, basierend auf den LUPs; 30

für jedes Quell/Zielknotenpaar auswählen eines Weges mit minimalem Funkfeld für jede Konstellations-Konfiguration, wobei dieser ausgewählte Weg mit minimalem Funkfeld zur größten Netzwerkweiterleitungsentropie (NRE) führt; und 35

Weiterleiten während der vorgegebenen Zeitperioden, die mit den Konstellations-Konfigurationen assoziiert sind, das Datenpaket zwischen einem Quellknoten und einem Zielknoten über den Weg mit minimalem Funkfeld. 40

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

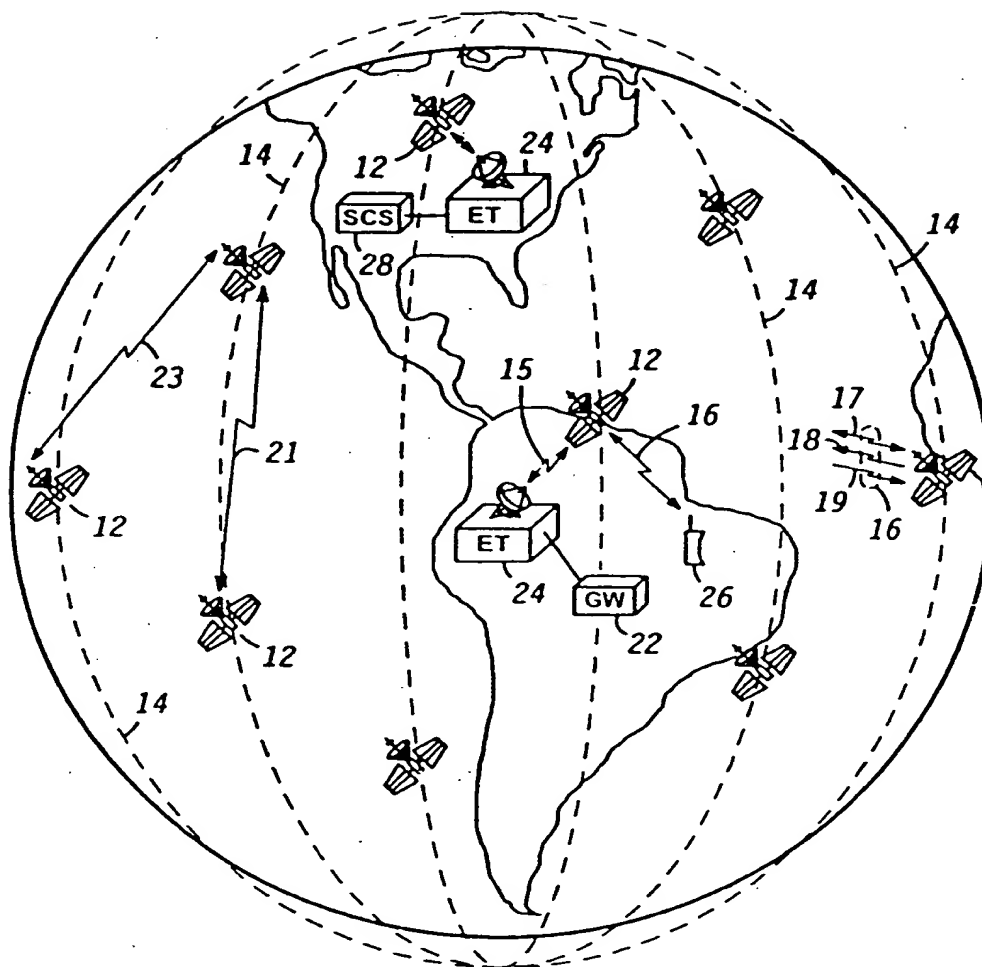


FIG. 1 ↑
10

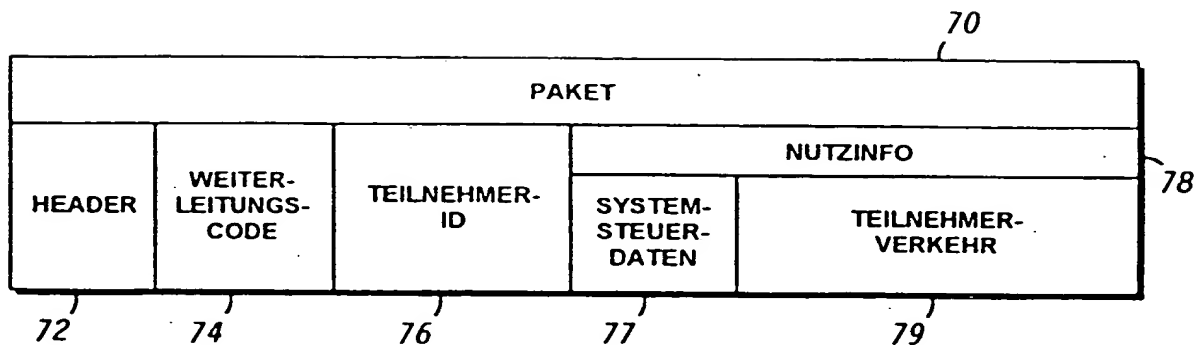
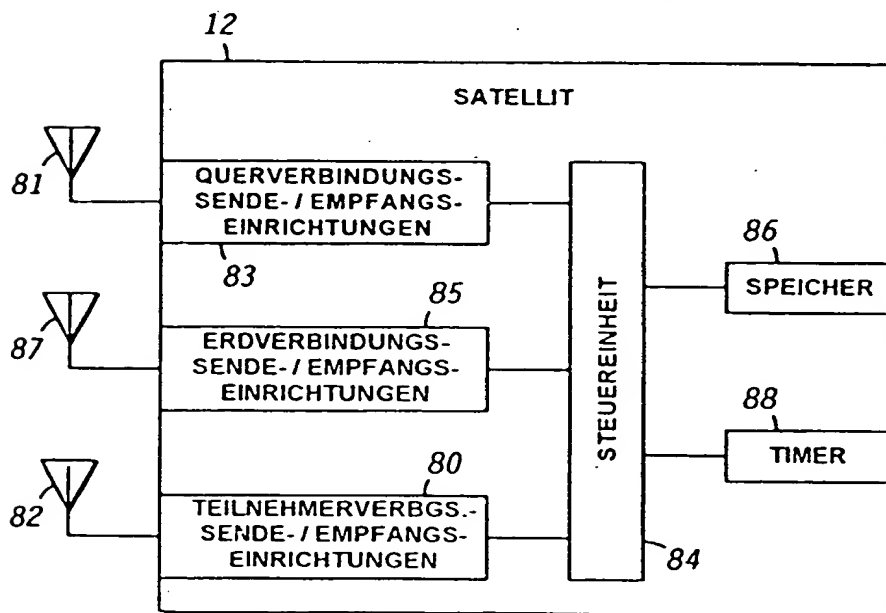


FIG. 2

FIG. 3



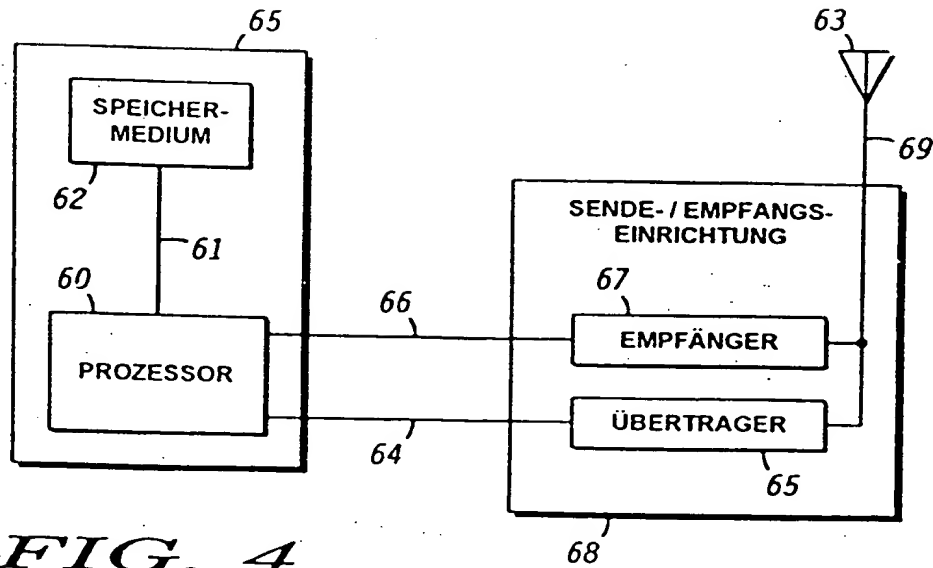


FIG. 4

90 FIG. 5

ZIELKNOTEN ODER ÜBERLEITUNGS- EINRICHTUNG	AUSGANGSVERBINDUNGSWAHLMÖGLICHKEITEN		
	ERSTE WAHL AUSGANGS- VERBINDUNG	ZWEITE WAHL AUSGANGS- VERBINDUNG	DRITTE WAHL AUSGANGS- VERBINDUNG
94	... 96	... 98	... 99

FIG. 6

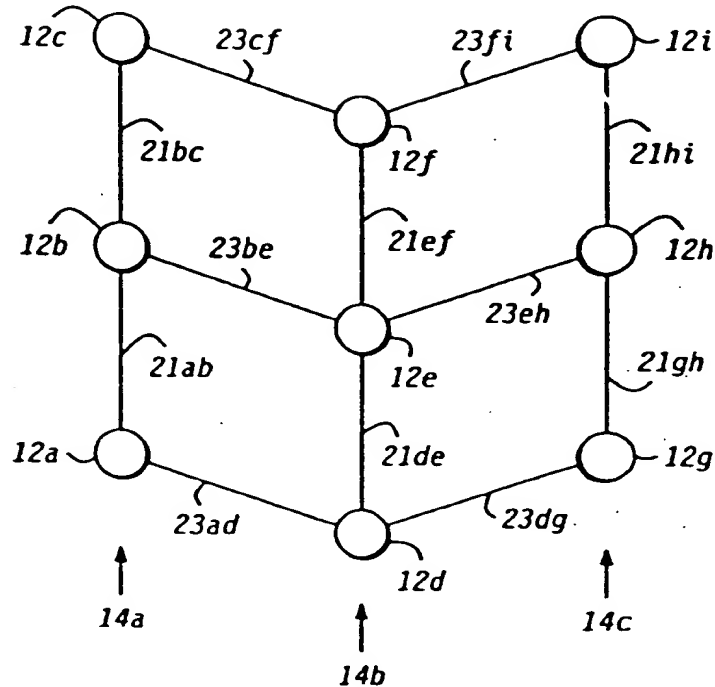


FIG. 7

45
↙

42	44 AUSGANGSVERBINDUNGSWAHLMÖGLICHKEITEN			48
	ZIELKNOTEN	ERSTE WAHL AUSGANGS- VERBINDUNG	ZWEITE WAHL AUSGANGS- VERBINDUNG	
42	12h	23dg	21de	48
42	12i	21de	23dg	48
42	12e	21de	23da	46
42	12f	21de	23dg	48
	

44 46

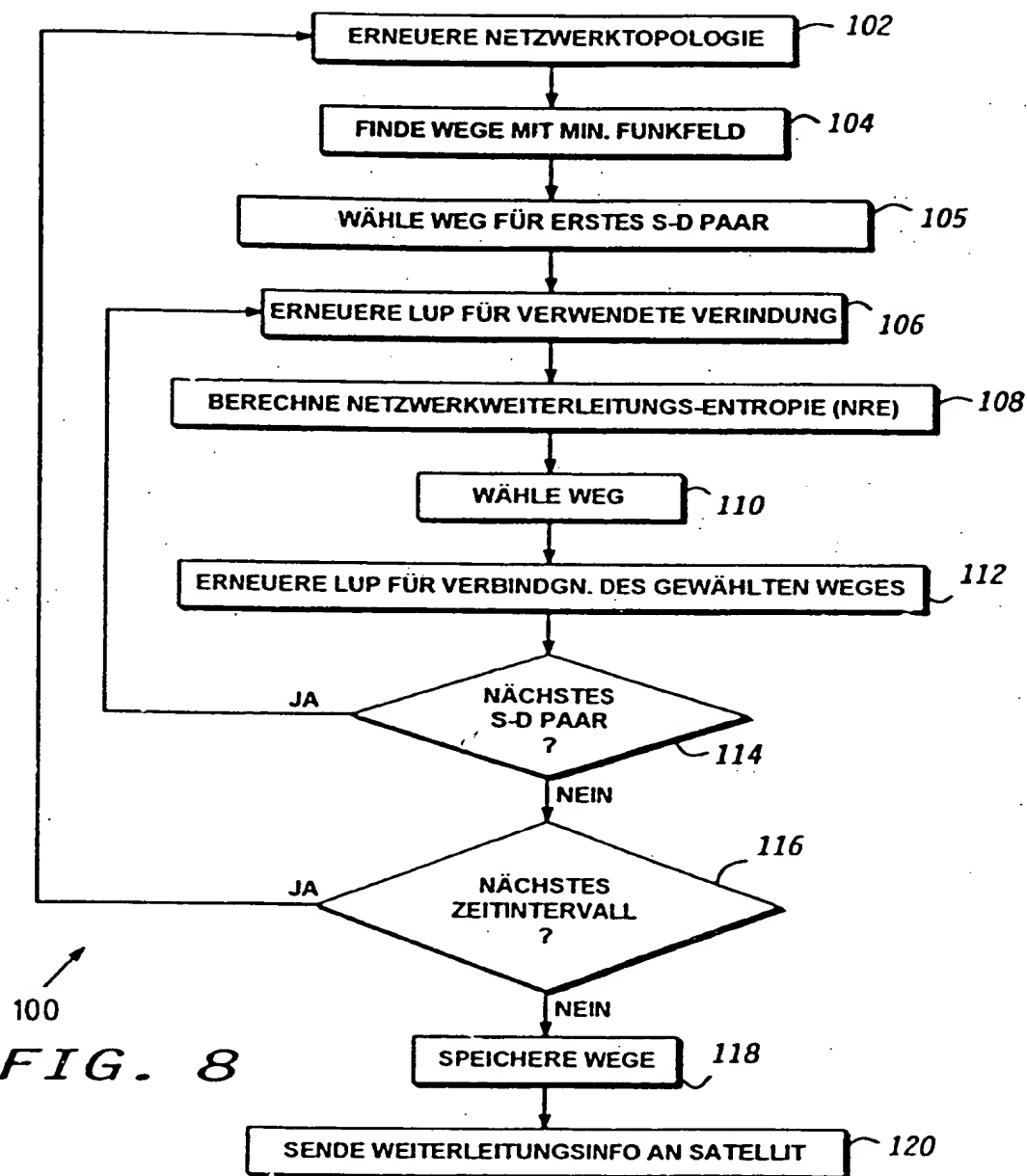


FIG. 8

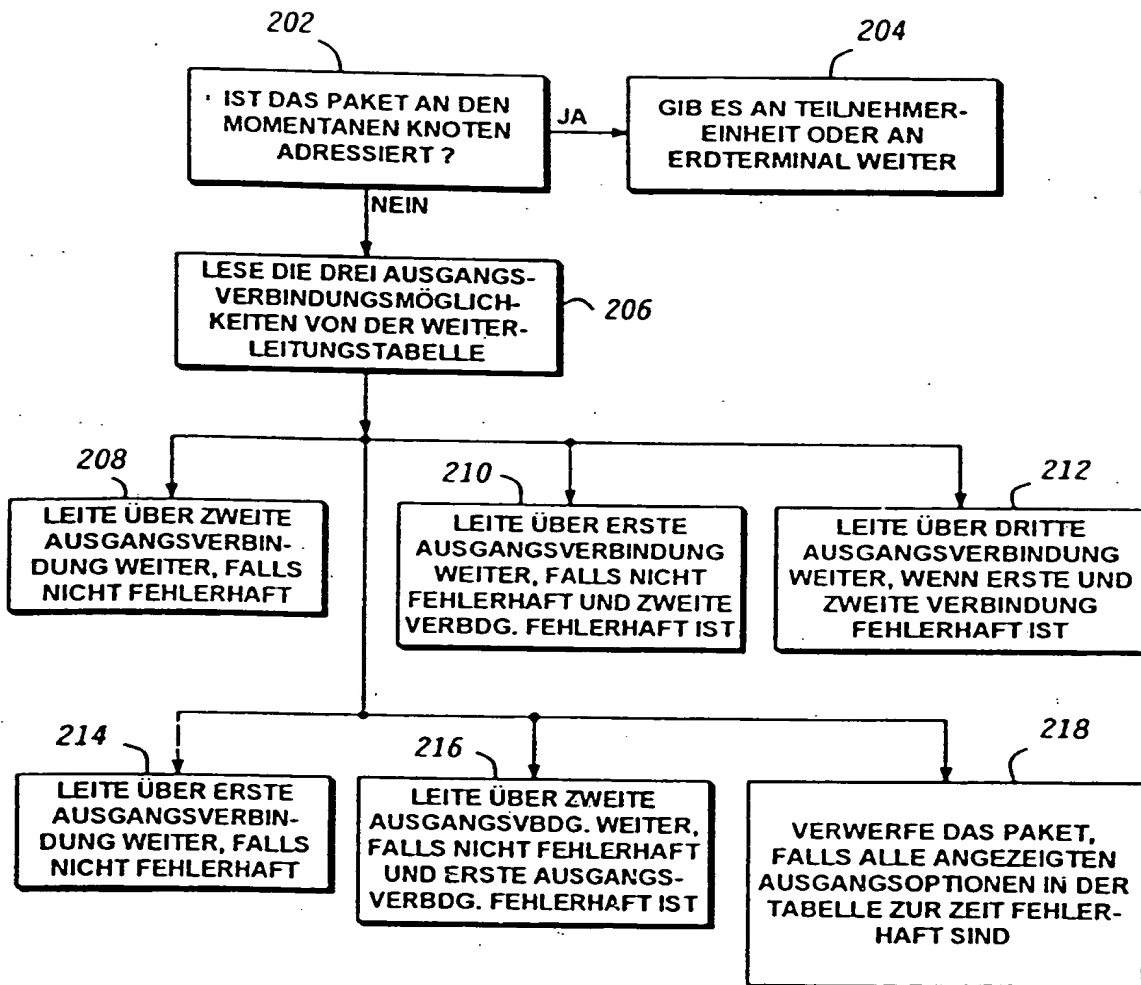


FIG. 9

200

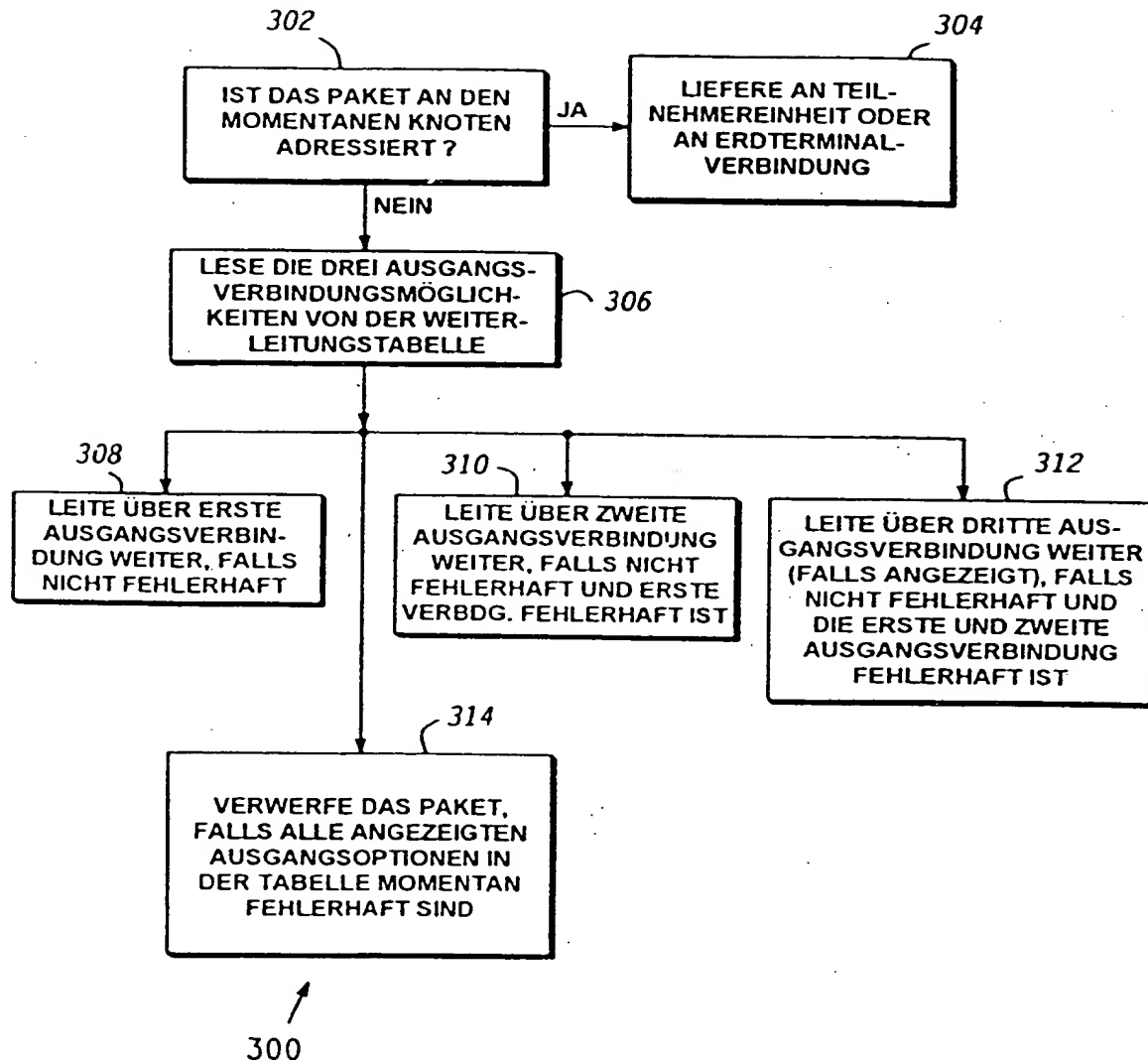


FIG. 10

